

## 平成12年度 卒業論文

## 幼児期における床振動時の身体各部位の動揺からみた予測的姿勢制御適応能の発達

金沢大学教育学部 スポーツ科学課程 第49期生 97-217 清田岳臣

## 1. 研究目的

身体は多くの関節を介する重構造であり、身体各部位の動揺特性から姿勢制御について検討することは重要であると考えられる。成人を対象に水平周期振動を負荷した先行研究において、身体各部位の前後動揺は適応的に変化すると報告されている<sup>1)</sup>。幼児期の予測的姿勢制御適応能の発達過程の中でも、身体各部位の動揺にそのような変化が生じている可能性が推察される。そこで、本研究では、幼児及び成人を対象に床振動を負荷することによって、予測的姿勢制御の適応能の発達を、身体各部位の動揺から検討することを目的とした。

## 2. 方法

## 1) 被験者

健康な4~6歳の総計78名の幼児と18~31歳の総計27名の成人が実験に参加した。これらの被験者を4歳群(24名)、5歳群(28名)、6歳群(26名)、成人群(27名)に分けた。

## 2) 装置

全ての測定は、振動台に固定した床反力計上の立位姿勢の被験者に対して振動を加えることで行われ、振動台を正弦波状に振幅2.5cm、周波数0.5Hzで前後方向に振動した(図1)。側方に設置したビデオカメラにより立位姿勢の保持状態を撮影し、床反力計より足圧中心動揺を、肩関節・大転子・膝関節に取り付けたポジションセンサーより身体各部位の水平方向の変位を検出した。

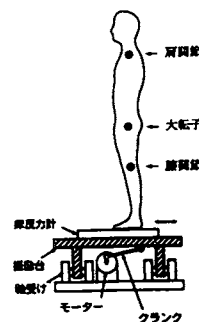


図1 床振動装置及び測定

## 3) 手順

振動負荷前に、指標を直視させた後に眼帯をかけ遮眼し、更に閉眼にさせた状態で安静立位姿勢を保持させた。この後、振動を60秒間負荷した。これを1試行とし、計5試行課した。試行間に1分間の休憩をとり、その間は眼帯を取り外した。

## 4) データ処理

5試行間の練習効果を見るために、第2試行から第4試行は練習とし、第1試行と第5試行を分析対象とした。分析は原則として振動開始10秒目から50秒間行った。ビデオ映像より立位姿勢を保持できた最大持続時間を計測した。足圧中心動揺及びポジションセンサーの信号は、FFT(高速フーリエ変換)法による周波数分析にかけ、

振幅スペクトラムを算出した。図2に6歳児と成人の足圧中心動揺の周波数振幅スペクトラムの代表例を示す。この例に示されるように、第1試行では0.5Hzの成分の振幅が最も大きく、第5試行でその振幅の減少が認められた。身体動揺の分析では、この0.5Hzの成分に焦点を当て、次の項目を算出した；(1)足圧中心動揺の振幅、(2)振動台変位に対する足圧

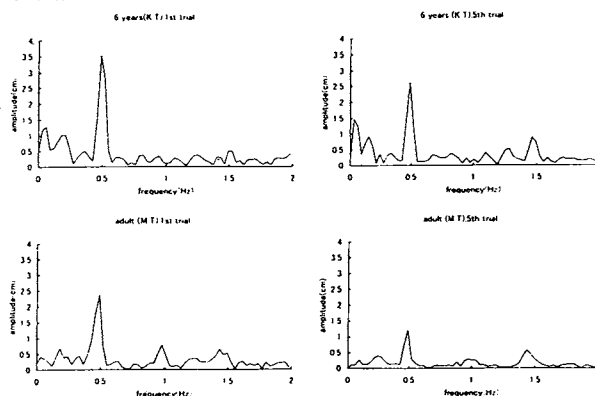


図2 足圧中心動揺の周波数振幅スペクトラムの代表例

中心動揺の位相差、(3)身体各部位の変動角、(4)身体部位間の位相差。

(1)については、先行研究<sup>1)</sup>により、重心高によって左右されることが示されている。そこで、振幅の実測値に身長補正を施した。

(3)については、図3に身体各部位の変動角及び計算式を示す。身体各部位の振幅はポジションセンサーより求め、足関節の振幅については、振動台の振幅をそれとした。身体各部位の振幅の差と身体部位間の長さをもとに次の変動角を求めた;足関節 - 膝関節変動角( $\theta 1$ )、膝関節 - 大転子変動角( $\theta 2$ )、大転子 - 肩関節変動角( $\theta 3$ )。

(4)については、算出された振動台の変位

に対する身体各部位の位相差をもとに、次の身体各部位間の位相差を求めた; 足関節 - 膝関節( $An-Kn$ )間、膝関節 - 大転子( $Kn-Tr$ )間、大転子 - 肩関節( $Tr-Sh$ )間。

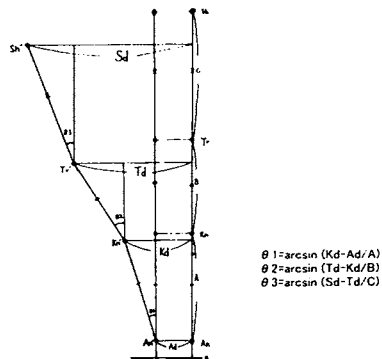


図3 身体各部位の変動角及び計算式  
0=振動台面、An=足関節、Kn=膝関節、Tr=大転子、Sh=肩関節  
Kn-An=A、Tr-Kn=B、Sh-Tr=C  
Ad=足関節変位、Kd=膝関節変位、Td=大転子変位、Sd=肩関節変位

### 3. 結果及び考察

#### 1) 姿勢保持状態

図4に年齢群、試行別の最大持続時間の中央値と最大・最小値を男女別に示す。成人群のほとんどが、50秒間立位姿勢を保持することができた。一方、幼児群では、50秒間に満たないものが多く、全群で有意な練習効果が認められた。この結果は、幼児群に比して成人群の予測的姿勢制御能が極めて高いことを示している。そして、姿勢保持という観点に立つと、4歳群においても予測的姿勢制御適応能を有するということが評価されることになる。また、6歳群女子と成人群の最大持続時間に差が認められなかった。この結果から、6歳群女子は成人群と同水準の予測的姿勢制御能を有すると考えられ、予測的姿勢制御能の発達が、女子の方が男子よりも早いことを示すものと考えられる。

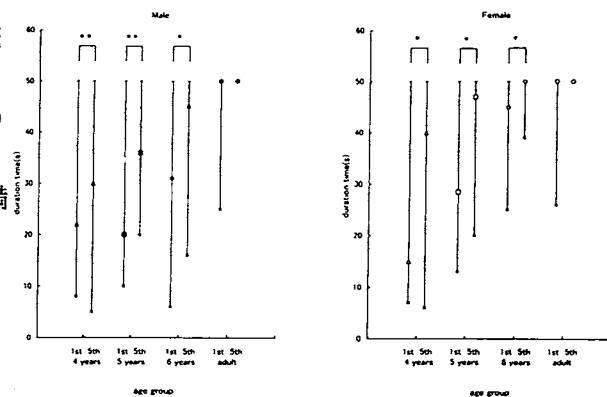


図4 最大持続時間の中央値と最大・最小値(男女別)

—: 最大値, ×: 最小値 \*\* $p < 0.01$ , \* $p < 0.05$

#### 2) 身体動揺

最大持続時間において、4歳群男女の値が非常に小さかった。したがって、FFT解析におけるデータ長が短くなり、これが5、6歳群の周波数解析結果の差異の一因となりうる。そこで、以下の身体動揺のパラメータに関しては、4歳群をはずして、5、6歳群と成人群を中心に周波数解析データを考察する。

##### (1) 足圧中心動揺の検討

図5に年齢群及び試行別の足圧中心動揺の振幅の平均値及び標準偏差を男女別に示す。足圧中心動揺の振幅において、成人群は値が小さく、幼児群の値の約半分であった。この結果は、成人の姿勢保持時の予測的姿勢制御能が、幼児群よりも極めて優れていることを示す。

あろう。成人群の男女に振幅の適応的減少が認められた。このことから、成人群の男女が予測的姿勢制御適応能を有するということが評価されることになる。幼児群において、5歳群では女子に適応的減少の傾向が認められ、その分散は練習により有意に減少した。6歳群では男女に適応的減少が認められた。これらのことから、5歳群は女子が適応能を獲得しつつあり、中には練習効果を示している人もいたと評価され、6歳群は男女ともに適応能を有すると評価されることになる。これらのことは、姿勢保持時の適応能の発達において、女子の方が男子よりも発達が早いことを示すと考えられる。

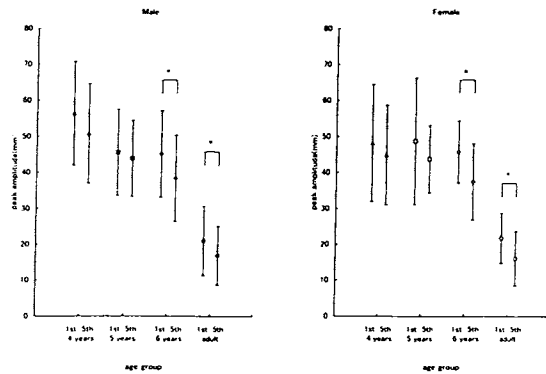


図5 足圧中心動揺の振幅の平均値と標準偏差(男女別)

\*\* :  $p < 0.01$ , \* :  $p < 0.05$

図6に年齢群、試行別の振動台変位に対する足圧中心動揺の位相差の平均値および標準偏差を男女別に示す。成人群では男女共に、位相遅れの適応的増大が認められ、幼児群では、6歳群女子に位相遅れの適応増大が認められた。これらの結果より、成人群及び6歳群女子が、筋緊張を変えて柔軟性を高めること、あるいは筋活動のタイミングを変えることで調節したと推察される<sup>2)</sup>。一方、足圧中心動揺の振幅において適応的变化を示した5歳群女子と6歳群男子は、位相特性と関係しない他の要素を中心に調節した可能性があるだろう。

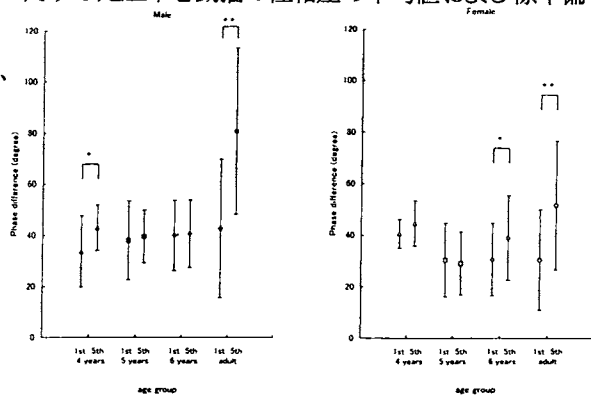


図6 足圧中心動揺の位相差の平均値と標準偏差(男女別)

\*\* :  $p < 0.01$ , \* :  $p < 0.05$

## (2)身体各部位の動揺の検討

今回、足圧中心動揺の振幅から、成人群の男女と6歳群の男女は、適応能を有すると評価され、足圧中心動揺の位相差から、成人群の男女と6歳群女子が位相特性を利用した調節を行っていることが示された。更に、これらの調節の差異を以下に述べる身体各部位の動揺の分析によって詳細に示すことができた。

図7において、年齢群及び試行別の足関節-膝関節変動角( $\theta_1$ )、膝関節-大転子変動角( $\theta_2$ )、大転子-肩関節変動角( $\theta_3$ )の平均値と標準偏差を男女別に示す。成人群の男女において全ての変動角で適応的減少が認められた。幼児群においては、5歳群女子では、足関

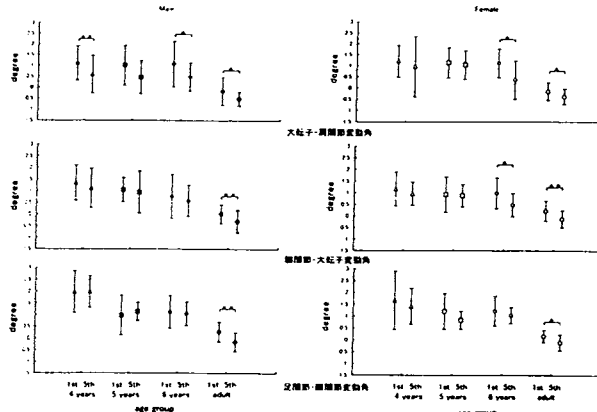


図7 身体各部位の変動角の平均値と標準偏差(男女別)

\*\* :  $p < 0.01$ , \* :  $p < 0.05$

節のみに適応的減少の傾向が認められ、その分散は練習により有意に減少した。6歳群では、女子は成人に類似した適応的变化、すなわち足関節の適応的減少の傾向及び他の部位での変動角の適応的減少を示し、男子は体幹部のみで変動角の適応的減少を示した。これらの結果から、成人群では身体動揺が小さくなるように身体全部位を有効に利用して調節していることを示していると考えられる。これに対し、幼児群では調節として有効利用できる身体部位が少なく、まだ発達過程にあると考えられる。そして、最終的に、成人様の調節様式を獲得することを想定すると、身体各部位の調節の獲得に性差があり、女子の方が男子よりも早く獲得すると考えられる。

図8において、年齢群及び試行別のAn-Kn、Kn-Tr、Tr-Shの位相差の平均値及び標準偏差を男女別に示す。成人群において、男女間に位相特性の違いがあり、女子ではいずれの部位間にも位相差の適応的増大が認められるのに対して、男子では股関節より上体で位相差のそのような変化が認められなかった。幼児群においては、6歳群にて、女子では膝

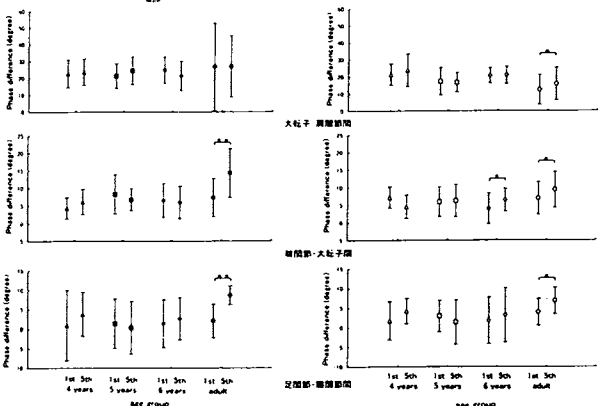


図8 身体部位間の位相差の平均値と標準偏差(男女別)  
\*\*:  $p < 0.01$ , \*:  $p < 0.05$

関節 - 大転子間に位相差の適応的増大が認められ、男子ではいずれの部位間でも認められなかった。身体部位間の位相差は、関節の固定度を表すと考えられる。その位相遅れの増大により、特に振動方向変換点における身体各部位の安定性が増し、剛体様の制御から柔構造を利用した制御へと変化すると考えられる。変動角の結果と合わせると、成人の女子では身体全部位の柔軟性を利用する方向で、男子では、下肢のみの柔軟性を利用する方向で安定性を向上させたものと考えられる。そして、幼児群においては、柔軟性を利用した調節が成人群に比して未発達であることを示す一方、6歳群女子が膝関節の柔軟性を利用して安定性を向上させたことを示している。変動角に適応的变化の認められた6歳群男子では、柔軟性を利用する以外の方法で、安定性を練習によって向上させたものと考えられるだろう。

## まとめ

1. 成人群では身体動揺が小さくなるように身体全部位を有効に利用して調節していると考えられた。ただし、成人群の位相特性に男女間で違いが認められた。
2. 成人群と比較して、幼児群では調節として有効利用できる身体部位が少なく、まだ発達過程にあると考えられた。また、柔軟性を利用した調節が成人群に比して未発達であると考えられた。
3. 身体各部位の調節の獲得に性差があり、女子の方が男子より早く獲得すると推察された。

## 参考文献

- 1) 藤原勝夫 他: 床振動時の立位姿勢の応答特性. 体育学研究, 29 (3): 251-261, 1984
- 2) 藤原勝夫 他: 水平床振動を繰り返し負荷した場合の立位姿勢調節の変化. 体力科学, 37(1): 25-36, 1988